PRODUZIONE E TRATTAMENTO DELL’ARIA COMPRESSA

1. Generazione dell'aria compressa

L’uso della pneumatica nei processi di produzione è così diffuso che attualmente non esistono più stabilimenti che non abbiano abbinato l’impianto di distribuzione dell’energia elettrica con l’impianto di distribuzione dell’aria compressa.
I sistemi di produzione automatizzati sono costituiti essenzialmente da componenti pneumatici che necessitano, secondo la prestazione richiesta, di aria compressa in quantitativi sufficienti, che deve esere prodotta da opportune macchine, i compressori.
L’accessorio principale per la generazione di aria compressa è dunque il compressore, disponibile in vari tipi per differenti possibilità di impiego.

Compressori *sono chiamati tutti i macchinari che convogliano aria compressa, gas o altri vapori, influenzando il parametro pressione.*

Caratteristiche di ogni compressore sono la portata in Nl/min (per compressori piccoli) oppure Nm^3/min ed il rapporto di compressione = la pressione raggiunta in bar.

Il Nl (Normal litro) consiste in un litro di gas (aria) alla pressione atmosferica.

La portata di un compressore in Nl/min oppure Nm^3/min è uno dei parametri usati per definire la sua prestazione. La portata esprime quindi la quantità d’aria libera aspirata alla pressione atmosferica.

Le portate fornibili possono variare, secondo il tipo di costruzione, da pochi Nl/min fino a 50.000 Nm^3/min.
Per la pneumatica si usano soltanto alcuni tipi di compressori condizionati dalla necessaria pressione di lavoro. I comandi pneumatici funzionano normalmente con una pressione d’aria di circa 6 bar. Il limite inferiore è di circa 3 bar: al di sotto di questa pressione le valvole distributrici presentano problemi di commutazione. Il limite superiore è di circa 15 bar a causa di problemi di sicurezza. Pressioni superiori ed inferiori sono possibili, ma solo per casi speciali.

2. Tipi di compressori

I compressori si distinguono in **volumetrici** e compressori **dinamici**. Questi ultimi sono caratterizzati da grandi portate (>600 Nm^3/min) e basse pressioni. Pressioni più elevate, utili nel campo della pneumatica, si ottengono solo tramite esecuzioni a più stadi e ciò ne limita molto l’impiego in questo campo.

Fig. 1- Simbolo del compressore

I compressori volumetrici, che trovano il loro specifico impiego proprio nel campo della pneumatica, si dividono a loro volta in compressori **alternativi** ed in compressori **rotativi**.
Dei primi si può menzionare i compressori a **pistone** ed i compressori a **membrana**; dei secondi si ricorda in particolare i compressori a **palette**, a **vite** e a **lobi**.

2.1. Compressori alternativi

Il più diffuso compressore alternativo è il **compressore a pistone**. Il funzionamento di questo compressore è basato sul moto alternativo di un pistone (Fig. 2) e dalla apertura/chiusura di due valvole automatiche poste rispettivamente in aspirazione ed in mandata. Sono usati quando è richiesta una piccola portata, mentre in campo industriale sono stati sostituiti dai più silenziosi compressori rotativi.

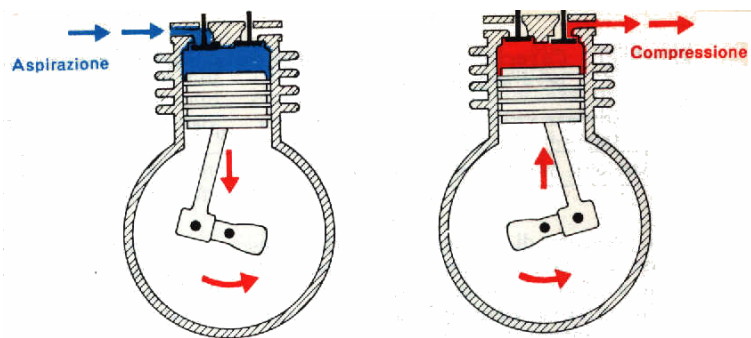



Fig. 2

I compressori a pistone ad un solo stadio realizzano una pressione d'uscita sino a circa 8 bar e per casi speciali sino a 10 bar. I compressori a doppio stadio con refrigerazione intermedia (Fig. 3) raggiungono normalmente pressioni d'uscita di 15 bar.

Fig. 3

Compressori a tre, quattro e più stadi possono fornire una pressione finale superiore a 250 bar.
Un cenno merita anche il **compressore a membrana** che basa il funzionamento sul moto alternativo di una membrana elastica. Il suo campo d'impiego è comunque limitato alle basse portate.

2.2. Compressori rotativi

Per generare aria compressa si impiegano generalmente i compressori rotativi a più cellule.
Nel **compressore a lamelle** il rotore (Fig. 4) è disposto eccentricamente rispetto alla carcassa in modo da creare uno spazio a forma di falce, che viene suddiviso in più cellule, tramite le lamelle mobili presenti nel rotore. Le lamelle possono scorrere all'interno delle sedi ricavate nel rotore radialmente.
Durante il movimento destrorso del rotore, l'aria viene aspirata da sinistra, dato l'ingrandirsi delle cellule, e poi compressa nelle cellule stesse al lato destro.

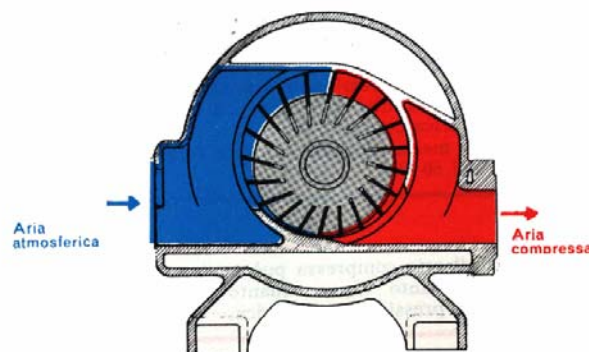



Fig. 4

Il principio di funzionamento di un **compressore a vite** è molto simile a quello di una coclea. Una vite, posta in rotazione dal motore, è accoppiata ad una seconda vite (Fig. 5) che ha la funzione di impedire all'aria di ritornare alla bocca di aspirazione.

Fig. 5

Nel compressore a lobi si hanno 2 rotori a forma di lobi che vengono fatti ruotare in sincronismo da una coppia di ruote dentate. I rotori possono avere 2 (Fig. 6-a) o 3 lobi (Fig. 6-b).

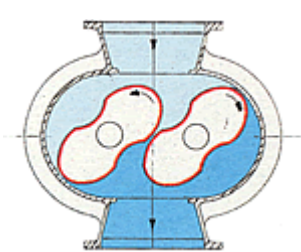
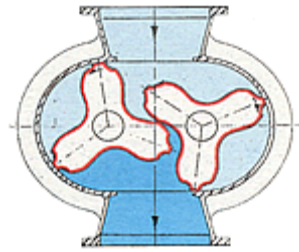



Fig. 6-a   Fig. 6-b

I vantaggi dei compressori rotativi sono il loro funzionamento silenzioso e la generazione di aria quasi priva di pulsazioni. I compressori rotativi realizzano con uno stadio circa 4 bar e con due stadi circa 8 bar. Si possono raggiungere portate, secondo la grandezza, di 100 Nm^3/min.

Fig. 7 – Compressore silenziato

3. Stazione d'aria compressa

I compressori mobili sono utili alle aziende solo quando servono come apparecchi ausiliari, o per scopi di ricerca. Indubbiamente è da preferirsi l'apparecchiatura stazionaria che ha il vantaggio di una maggiore capacità e della possibilità di isolare i compressori dal resto della produzione. Il montaggio di un impianto d'aria compressa dovrà essere eseguito su elementi di ammortizzamento onde evitare vibrazioni; i gruppi più grossi su fondamenti, appositamente preparati, non connessi rigidamente con il pavimento.
A meno dei piccoli compressori, i generatori di aria compressa devono essere installati in una sala appartata. E' da fare attenzione che il compressore possa aspirare possibilmente aria fredda, in particolare aria asciutta

e pulita. In presenza di aria sporca, si può ricorrere all'uso di un filtro d'aria supplementare che depura l'aria, convogliata verso i compressori, attraverso condotte opportunamente dimensionate.
In tal modo possono essere alimentati anche più compressori tramite una sola linea di aspirazione.
Si tenga presente che:

- La durata o vita di un compressore dipende dal grado di depurazione dell'aria aspirata.
- L'aspirazione di aria calda ed umida porta ad una quantità maggiore di condense dopo la compressione dell'aria.

4. L'umidità nell'aria.

Nell'aria è sempre presente una certa quantità di umidità che è in relazione generalmente alla temperatura stessa dell'aria. Maggiore è infatti la temperatura dell'aria e maggiore è la quantità di vapore acqueo che può essere presente. La capacità di assorbire umidità aumenta quindi con la temperatura. Il massimo contenuto possibile di vapore che può essere contenuto è riportato nella tabella ed indicato con: *umidità assoluta di saturazione o punto di rugiada*.

Temperatura in °C	-10	0	5	10	15	20	30	50	70	90
Vapore acqueo in g/m^3	2.1	4.9	7	9.5	13	17	30	83	198	424

Si può notare dalla tabella che 1 m^3 di aria avente la temperatura di 30 °C può contenere fino a 30 g di acqua.
Questo non significa che 1 m^3 d'aria a 30°C contenga sempre 30 g di acqua, cioè il 100% della sua capacità. Se per esempio ne contiene solo 6 g, allora l'umidità assoluta (*grammi di vapore contenuti nell'aria*) è di 6g/m^3, mentre l'umidità relativa (*umidità assoluta / umidità assoluta di saturazione)* può essere calcolata con:

$$Umidità \cdot relativa = \frac{6}{30} = 0{,}2$$

mentre

$$Umidità \cdot relativa \cdot \% = 20\%$$

La presenza di condense nell'aria compressa dipende dall'umidità relativa dell'aria aspirata e dalla temperatura. L'umidità relativa viene indicata in percentuale (rapporto fra umidità assoluta e quantità massima di vapore acqueo che l'acqua può contenere allorché è satura, come da tabella). Generalmente l'umidità relativa dell'aria varia, in funzione delle condizioni atmosferiche, tra il 20% ed il 90%.
Il compito del compressore è quello di comprimere l'aria che si trova alla pressione atmosferica (circa 1 bar) e portarla ad una pressione p. Alla fine della compressione il volume dell'aria è diminuito passando dal valore iniziale v_i, a quello finale v_f

$$v_f = \frac{v_i}{p+1}$$

4.1. Esempio.

Tenendo conto che l'aria atmosferica contiene, secondo le condizioni meteorologiche, umidità relativa del 60-90%, si vogliono comprimere 70 N m^3/h di aria atmosferica a 30°C e 80% di umidità relativa ad una temperatura di 20°C e ad una pressione di 6 bar.
Si vuole determinare la portata di acqua che viene scaricata dal compressore.

Soluzione

Innanzitutto si determina la portata di aria in uscita dal compressore.

$$v_f = \frac{v_i}{p+1} = \frac{70m^3/h}{6+1} = 10m^3/h$$

L'umidità assoluta dell'aria a 30° è, secondo i valori della tabella

$$30 \text{ g/m}^3 \times 80/100 = 24 \text{ g/m}^3.$$

Qualora l'aria si raffreddi a 20 °C, il valore massimo di umidità contenuto nell'aria è di 17g/m^3 e pertanto ogni m^3 di aria perderà

$$24\text{-}17 = 7\text{g}.$$

Con un consumo di aria aspirata di 70 Nm^3/h, ogni ora, si hanno quindi

$$7\text{g} \times 70 = 490 \text{ g/h di acqua.}$$

5. Il serbatoio

Il serbatoio dell'aria compressa ha il compito primario di accumulare l'aria per compensare eventuali irregolarità di generazione e di prelievo da parte dell'impianto pneumatico. In particolare, se il compressore è del tipo a pistone, devono essere previste delle pause che ristabiliscano le temperatura a libelli accettabili. Il secondo scopo è quello di impedire ad eventuali particelle di proseguire il loro percorso verso l'impianto di distribuzione. Il terzo scopo è quello di raccogliere eventuali condense di acqua che si accumulano nel fondo che verranno eventualmente eliminate attraverso scaricatori automatici o manuali. Il quarto è quello di contribuire ad un ulteriore raffreddamento dell'aria contenuta.
Qualora necessiti molta aria compressa è più conveniente provvedere alla installazione di due o tre compressori invece di uno. Nella disfunzione di un solo compressore si fermerebbero entro breve tempo tutti gli impianti pneumatici, poiché la riserva dei serbatoi d'aria può garantire il funzionamento solo per alcuni minuti. Con impianti di compressori multipli invece è possibile far funzionare, anche se in modo limitato, l'impianto pneumatico.

6. Schema di impianto produzione aria compressa

Si riporta in figura 8 lo schema di un piccolo impianto per la produzione di aria compressa.

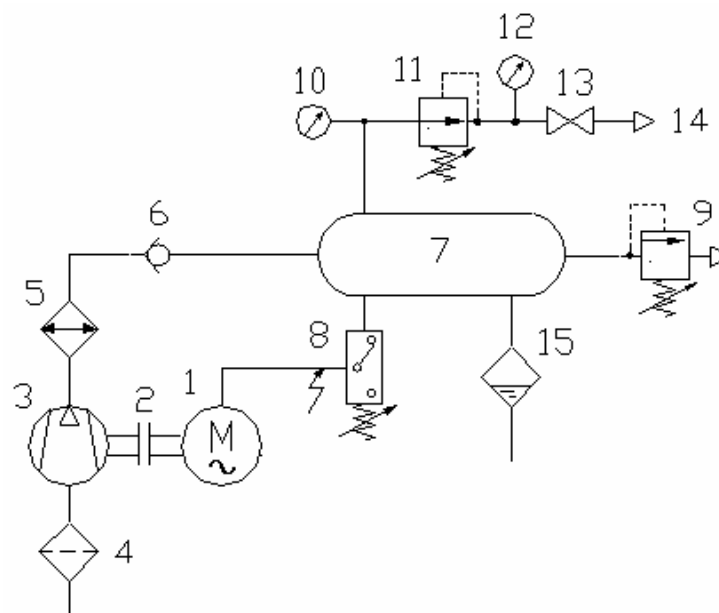



Fig. 8

Possiamo individuare, contrassegnati dai numeri progressivi, i seguenti componenti:

1. Motore elettrico a corrente alternata
2. Giunto
3. Compressore
4. Filtro aspirazione aria
5. Scambiatore di calore
6. Valvola unidirezionale
7. Serbatoio
8. Pressostato
9. Valvola di massima pressione o valvola di sicurezza
10. Manometro pressione serbatoio
11. Valvola di regolazione della pressione
12. Manometro pressione aria utilizzatore
13. Valvola di intercettazione
14. Uscita utilizzatore
15. Scaricatore di condensa

6.1. Descrizione del funzionamento.

L'aria, aspirata attraverso il filtro **4** è compressa e successivamente raffreddata dallo scambiatore di calore **5** per diminuirne il volume. La valvola di non ritorno **6** evita lo svuotamento del serbatoio **7** quando il compressore **3** è fermo. Al raggiungimento della pressione di taratura, indicata dal manometro **10**, il pressostato **8** commuta i contatti interni arrestando il motore elettrico **1**. Per maggior sicurezza viene montata una valvola di massima pressione **9** che è tarabile ed è una valvola normalmente chiusa. L'aria compressa viene inviata, attraverso la valvola di intercettazione **13**, all'utilizzatore **14**, con la dovuta pressione, misurata dal manometro **12** e regolata dalla valvola **11**, che è normalmente aperta.
Una valvola di scarico **15** della condensa, inserita nella parte bassa del serbatoio elimina l'eventuale umidità presente nell'aria.

7. Aria compressa non lubrificata

Le aziende che lavorano prodotti alimentari, articoli cosmetici, prodotti farmaceutici e biomedicali necessitano non solo di aria asciutta ma soprattutto di aria esente da olio.
I compressori consueti erogano aria più o meno arricchita di nebbia di olio dovuta alla lubrificazione dei compressori stessi.
L'industria offre a tale proposito compressori adatti che forniscono aria compressa esente da olio. Ma anche qui l'aria deve essere depurata, dopo la compressione, dalla presenza di acqua. Si installano pertanto filtri assorbenti per garantire una particolare purezza. L'essiccamento dell'aria richiede ulteriori accorgimenti prima di essere inviata, ad esempio, alle camere bianche.

Fig. 9 - Piccoli compressori per camere bianche

8. Distribuzione dell'aria compressa

La distribuzione dell’aria compressa, dal generatore all’utilizzatore avviene attraverso tubazioni che si diramano in tutti i reparti di lavorazione (Fig. 10).

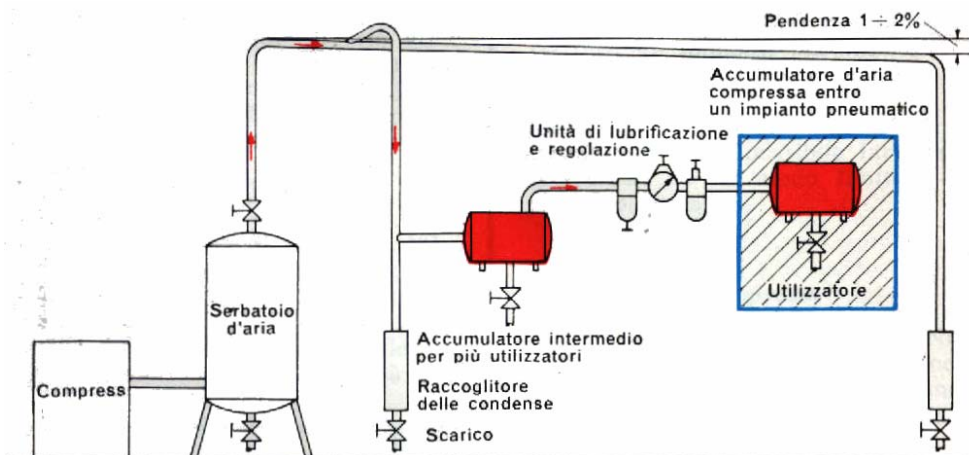



Fig. 10

Le tubazioni vanno installate con una leggera pendenza (1% - 2%) per evitare eventuali ristagni di condense e le diramazione devono innestarsi nella parte superiore del condotto principale.

9. Trattamento dell’aria compressa.

Le istruzioni per l’uso degli elementi pneumatici contengono quasi sempre l’indicazione: “raccomandiamo l’installazione di un’unità di lubrificazione”. In tal modo si vuole consigliare l’impiego di sola aria trattata per le utilizzazioni.
Un’unità di condizionamento è costituita da un filtro, un lubrificatore ed un regolatore di pressione.

9.1. Filtro

L'aria compressa prelevata dalla rete non contiene solo le impurità dovute alla aspirazione del compressore, ma anche polvere, scorie, particelle di ruggine della rete stessa. La massima parte delle impurità della rete vengono drenate in un apposito raccoglitore per le condense. Le particelle più piccole, comunque, restano in sospensione nel flusso d'aria e smeriglierebbero le parti mobili degli elementi pneumatici.
Il filtro (Fig. 12) deve depurare l’aria compressa da tutte le impurità e condense.
All’arrivo nella tazza del filtro (2), l’aria viene messa in rotazione da un centrifugatore scanalato (1). La tazza del filtro è di solito in materiale plastico trasparente o in ottone per pressioni elevate. Le impurità vengono proiettate contro le pareti interne e si depositano con l’acqua che precipita anche per raffreddamento nella parte inferiore della tazza.
Le condense devono essere tolte almeno al raggiungimento del livello massimo indicato, altrimenti si unirebbero nuovamente all’aria, passando quindi nell’utilizzatore. Vengono trattenute particelle solide, più grandi dei pori dell’elemento filtrante (3). Queste particelle fanno chiudere col tempo i pori del filtro. Occorre quindi una regolare pulizia o sostituzione del filtro.
Qualora si verificassero grandi quantità di condense è consigliabile montare uno scarico automatico, anziché manuale (4). La porosità dell’elemento filtrante dovrebbe essere tra 0,02 e 0,05 mm

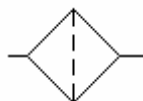
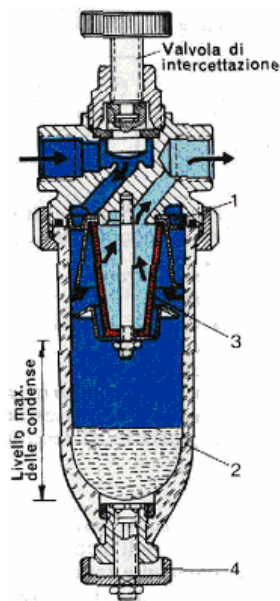



Fig. 11 – Simbolo del filtro

1.centrifugatore scanalato

2.tazza del filtro in materiale plastico trasparente o in ottone per pressioni elevate.

3.elemento filtrante

4.scarico condensa.

Fig. 12 - Sezione di un filtro.

9.2. Regolatore di pressione

Il flusso dell’aria varia con il tempo di inserzione e disinserzione del compressore e in rapporto alla pressione nel serbatoio d'aria. Gli utilizzatori devono essere invece alimentati con una pressione costante.

1. membrana

2. molla

3 .vite di regolazione della pressione secondaria

4. sede valvola

5. molla ammortizzante

6. piattello di tenuta.

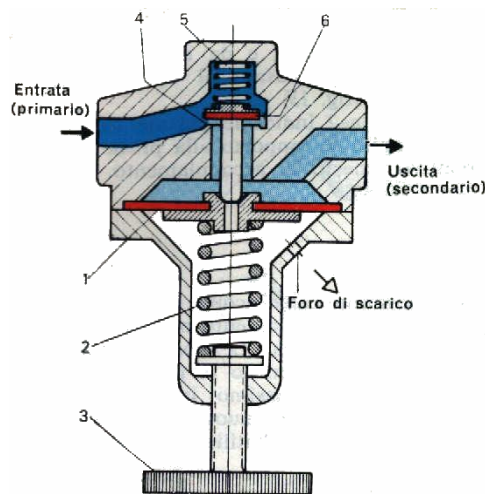



Fig.13 - Sezione di un regolatore di pressione

Il regolatore (Fig. 13), avendo la funzione di una valvola a pressione, deve mantenere livellata la pressione di lavoro (pressione secondaria), indipendentemente dalla variazione della pressione di rete (pressione primaria) ed il consumo d'aria.
La pressione d’entrata (primaria) deve essere sempre maggiore della pressione d’uscita (secondaria).
La pressione secondaria è regolata da una valvola di pressione con membrana (1). Un lato della membrana è sotto pressione, sul lato opposto è stata applicata una molla (2), la cui forza di compressione è regolabile tramite la vite (3). In tal modo è possibile regolare la pressione secondaria.
Aumentando la pressione d’uscita, la membrana si muove in senso opposto alla forza esercitata dalla molla, In tal modo viene modificata di continuo, anche bloccata, la luce di passaggio della sede della valvola (4). La pressione d’uscita viene regolata tramite la portata. Essa si abbassa nel prelevamento di aria e automaticamente la forza della molla riapre la valvola.
La regolazione della pressione d’uscita si ha pertanto con una continua apertura e chiusura della sede della valvola.

Fig. 14 – Simbolo del regolatore di pressione

Per evitare oscillazioni viene incorporato un ammortizzatore a molla (5) oppure ad aria sotto il piattello della valvola (6). Un manometro indica la pressione d'uscita che determina con la pressione di lavoro.

9.3. Lubrificatore

Per completare il trattamento dell'aria occorre infine una lubrificazione che va a tutto vantaggio delle parti mobili degli elementi pneumatici. L'aria compressa non trattata può determinare la disfunzione degli elementi pneumatici e renderli inutilizzabili. Il lubrificatore (Fig. 15) deve portare agli apparecchi pneumatici una sufficiente quantità di olio lubrificante in forma di nebbia. La nebulizzazione deve essere tale da alimentare anche impianti estesi.

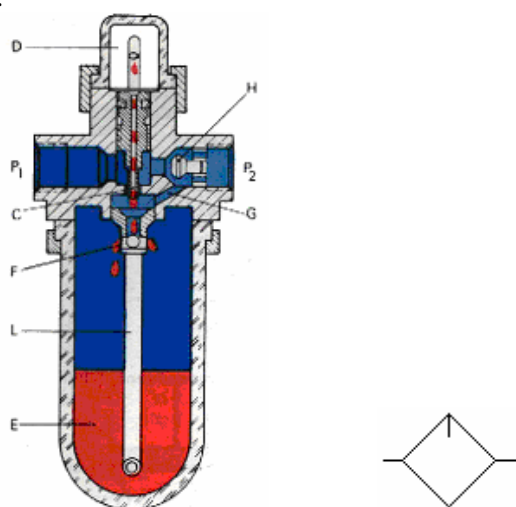



Fig. 15 - Sezione del lubrificatore e relativo simbolo

L'aria entra nell'apparecchio e attraversa una sezione a forma di "Tubo Venturi" (Fig. 12), causando una differenza di pressione che provoca un richiamo d'olio dal serbatoio al polverizzatore, nebulizzandosi con l'aria passante.
Il lubrificatore comincia a funzionare solo quando vi è una certa pressione e portate minime di aria non bastano per aspirare l'olio dal pescante.
I lubrificatori devono essere caricati solo con oli minerali fini (tipo SAE 10).

9.4. Gruppo FRL

Per ottenere una completa unità di linea occorre un filtro, un regolatore ed un lubrificatore. Però l'intera unità è in genere venduta in un solo corpo con la dicitura di "*Gruppo FRL*"

Fig. 16 - Gruppo FRL completo e relativo simbolo.